Geometric Objects and Transformation

321190
2007년 봄학기
4/17/2007
박경신

OpenGL Transformation

- OpenGL은 기본적인 변환을 수행하는 함수를 제공한다.
- *Translation*: 이동변환은 3차원 이동 변위벡터 (dx, dy, dz)를 넣는다.
- *Rotation:* 회전변환은 axis(회전축)와 angle(각도)을 넣는다.
- *Scaling:* 크기변환은 scaling factor (크기변환 값)를 넣는다.
- 이 각각의 함수는 4x4 변환 행렬을 생성하여 객체에 적용이 된다.

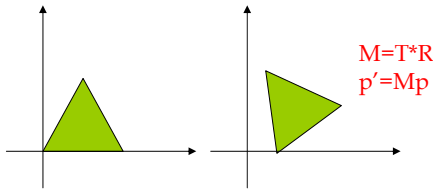
OpenGL Transformation

- glTranslate*(dx, dy, dz)
  - 이동변환 인자 dx, dy, dz는 실수
  - 2차원 이동 : dz = 0.0
  - glTranslatef(25.0, -10.0, 0.0);
- glRotate* (theta, vx, vy, vz)
  - 회전변환 인자 theta는 회전량 각도 (rotation angle in degrees)는 0~360 사이의 값을 가짐
  - 벡터 (vx, vy, vz)는 회전축 (rotation axis)
  - glRotatef(90, 0, 0, 1);
- glScale*(sx, sy, sz)
  - 크기변환 인자 sx, sy, sz는 실수
  - 반사 (reflection)는 인자값에 음수를 적용
  - glScalef(2.0, -3.0, 1.0);
- Suffix code (*)는 f (float) 또는 d (double)

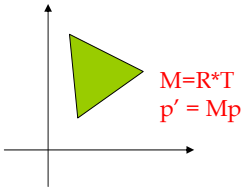
Transformation Order

- OpenGL에서 모델링 변환 행렬들은 객체에 설정된 반대 순서로 적용된다.
  - 즉, 마지막 변환 (즉, 기하 함수 호출 바로 전에 쓰인 것)이 정점 데이터에 먼저 적용된다.

```
glTranslatef(0.5, 0, 0);
glRotatef(45, 0, 0, 1);
drawTriangle();
```

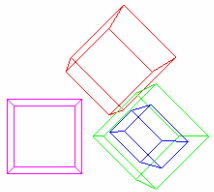



```
glRotatef(45, 0, 0, 1);
glTranslatef(0.5, 0, 0);
drawTriangle();
```



Transformation Order

```
glColor3f(1.0, 0.0, 1.0);
glutWireCube(1);

glPushMatrix();
glRotatef(45.0, 0.0, 0.0, 1.0);
glTranslatef(1.5, 0.0, 0.0);
glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
glutWireCube(1);
glPopMatrix();

glPushMatrix();
glTranslatef(1.5, 0.0, 0.0);
glRotatef(45.0, 0.0, 0.0, 1.0);
glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);
glutWireCube(1);
glPopMatrix();
```



Matrix Operations

- glMatrixMode(GLenum mode)
  - glMatrixMode는 행렬 모드를 설정한다. 현재의 행렬이 모델뷰 (model view), 투영 (projection), 텍스쳐 (texture) 행렬 중 어떤 것인지를 나타내는 함수이다.
- glMatrixMode(GL_PROJECTION)
  - 연속되는 행렬 연산을 투영 행렬 (*projection* matrix) 스택에 적용한다. 투영 행렬은 3D 공간에 카메라 설정을 수학적으로 표현한 행렬이다.
- glMatrixMode(GL_MODEL_VIEW)
  - 연속되는 행렬 연산을 기하 변환 행렬 (geometric transformation matrix) 스택에 적용한다. 3D 공간에 물체의 배치를 수학적으로 표현한 행렬이다.
  - 현재 modelview 모드에 있으면, 모델링 변환 함수 (즉, 이동, 회전, 크기변환 함수)의 행렬을 기하변환 행렬 스택에 적용한다.

Matrix Operations

- glLoadIdentity()
  - 현재의 행렬을 4x4 단위행렬 (identity matrix)로 설정한다. 즉, 현재의 행렬을 초기화 한다.
- glLoadMatrix{d/f}(const GLdouble/GLfloat *M)
  - 현재 행렬에 임의의 변환행렬 16개의 값 M을 대입한다.
  - 이 때, M의 element는 열-중심 (column-major) 순서로 지정해야 한다.

$$M = \begin{pmatrix} m_0 & m_4 & m_8 & m_{12} \\ m_1 & m_5 & m_9 & m_{13} \\ m_2 & m_6 & m_{10} & m_{14} \\ m_3 & m_7 & m_{11} & m_{15} \end{pmatrix} \begin{matrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix}$$

Matrix Operations

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
GLfloat M[16];
GLint k;
for (k=0; k<16; k++)
    elements[k] = float(k);
glLoadMatrixf(M);
```

$$M = \begin{pmatrix} 0.0 & 4.0 & 8.0 & 12.0 \\ 1.0 & 5.0 & 9.0 & 13.0 \\ 2.0 & 6.0 & 10.0 & 14.0 \\ 3.0 & 7.0 & 11.0 & 15.0 \end{pmatrix}$$

Matrix Operations

- glMultMatrix{d/f}(const GLdouble/GLfloat *M)
  - 현재의 행렬에 M을 곱한다.
  - 이 때, M의 16개의 값을 가지고 있고, 각 element는 열-중심 (column-major) 순서로 지정해야 한다.
  - 현재의 행렬은 glMultMatrix에서 지정한 행렬에 의해 postmultipy 된 후 값이 바뀐다.

```
// 물체를 공간상에 그리기위해 행렬모드를 GL_MODELVIEW로 설정
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();       // 행렬을 초기화
glMultMatrixf(M2);    // M2행렬을 곱함
glMultMatrixf(M1);     // M1행렬을 곱함
```

Matrix Operations

- glGetFloatv(GL_MODELVIEW_MATRIX, M)
  - 현재의 변환 행렬을 M으로 돌려준다.

```
GLfloat M[16];
glGetFloatv(GL_MODELVIEW, M);
```

- glPushMatrix() & glPopMatrix()
  - 행렬 스택에 glPushMatrix()는 현재 상태를 저장하고
  - glPopMatrix()는 스택의 맨 위에 저장된 상태로 복원시킨다.

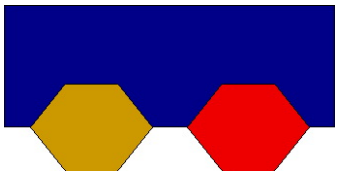
Matrix Operations

- C ← I glLoadIdentity();
- C ← C T glTranslatef(dx, dy, dz);
- C ← C S glScalef(sx, sy, sz);
- C ← C R glRotatef(angle, ax, ay, az);
- C ← M glLoadMatrixf(ptr_to_matrix);

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();                    // C = I
glTranslatef(2.0, 1.0, 0.0);         // C = T (p)
glRotatef(60, 1.0, 0.0, 0.0);        // C = C R (θ) = T(p) R(θ)
glTranslatef(-2.0, 1.0, 0.0);        // C = C T(-p) = T(p) R(θ) T(-p)
drawObject();
```

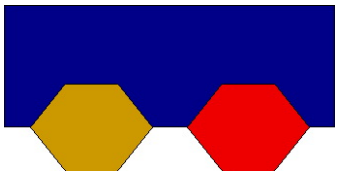
Hierarchical Transformations

- 계층적 변환 (hierarchical transformation)은 한 변환을 다른 변환에 소속시키는 것으로 생각하면 된다.
- 계층적 변환이란 한 객체의 변환을 다른 객체들에 상대적인 변환으로 사용된다.
- 2개의 자동차 바퀴(wheel)가 자동차 차체(body)에 상대적인 계층적 변환의 예를 보자면:
  - Apply body transformation
  - Draw body
  - Save state
  - Apply front wheel transformation
  - Draw wheel
  - Restore saved state
  - Apply rear wheel transformation
  - Draw wheel



Hierarchical Transformations

- 또한, 이 자동차가 움직이게 되면, 자동차의 차체에서 상대적인 위치에 있는 바퀴 두 개도 역시 몸체와 같이 움직이게 됨을 알 수 있다.
- 이 때, 두 개의 바퀴를 자동차의 몸체의 변환에 같이 영향을 받도록 만들어 하며, 바퀴가 각자 따로 변환하지 않도록 한다.

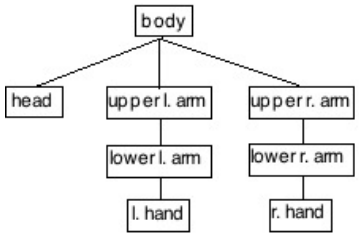


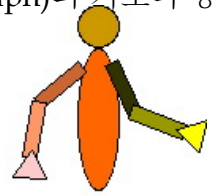
Example: Car

```
glLoadIdentity();
glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
glTranslatef(carpos[0], carpos[1], carpos[2]);
drawBody();

glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);
glPushMatrix();
    glTranslatef(-0.2, 0.0, 0.0);
    glRotatef(angle, 0, 0, 1);
    drawWheel();
glPopMatrix();

glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
glPushMatrix();
    glTranslatef(0.2, 0.0, 0.0);
    glRotatef(angle, 0, 0, 1);
    drawWheel();
glPopMatrix();
```

Transformation Hierarchy

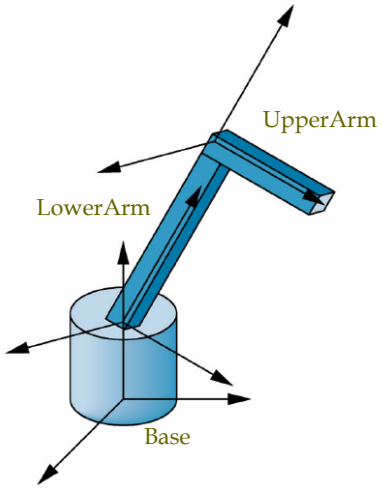
- 계층적 변환 (hierarchical transformations)은 종종 변환의 트리 (tree) 구조로 표현한다.
- 3차원 캐릭터를 디자인하기 위해 강체 부분 (rigid body parts)으로 만들어진 계층적 변환 구조를 사용한다.
- 그리고, 보다 유연한 3차원 캐릭터 디자인을 위해서는 다수의 계층적 변환을 적절히 섞어 사용해야 한다.
- 이런 계층은 장면그라프 (scene graph)의 기초와 동일하다.



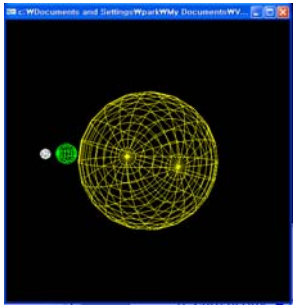


Example: Robot

```
Display()
{
  glPushMatrix();
  glRotatef (theta, 0.0, 1.0, 0.0);
  Base();

  glTranslatef (0.0, h1, 0.0);
  glRotatef(phi, 0.0, 0.0, 1.0);
  DrawLowerArm ();

  glTranslatef (0.0, h2, 0.0);
  glRotatef (psi, 0.0, 0.0, 1.0);
  DrawUpperArm();
}
```



Example: Solar



```
// global variables
float  g_ElpasedTime;
double g_CurrentTime, g_PreviousTime;
float g_SunRadius = 5.0f;
float g_EarthRadius = 1.0f;
float g_MoonRadius = 0.5f;
float g_EarthDistanceFromSun = -12.0f;
float g_MoonDistanceFromEarth = -2.0f;

void update()
{
   g_CurrentTime = timeGetTime();
   g_ElpasedTime = (float)((g_CurrentTime - g_PreviousTime) * 0.001);
   g_PreviousTime    = g_CurrentTime;
   glutPostRedisplay();
}
```

Example: Solar

```
void display (void)
{
   ...
   static float SunSpin    = 0.0f;
   static float EarthSpin  = 0.0f;
   static float EarthOrbit = 0.0f;
   static float MoonSpin   = 0.0f;
   static float MoonOrbit  = 0.0f;
   if( g_OrbitOn == true )
   {
      SunSpin -= g_Speed * (g_ElpasedTime * 10.0f);
      EarthSpin  -= g_Speed * (g_ElpasedTime * 100.0f);
      EarthOrbit -= g_Speed * (g_ElpasedTime * 20.0f);
      MoonSpin  -= g_Speed * (g_ElpasedTime * 50.0f);
      MoonOrbit -= g_Speed * (g_ElpasedTime * 200.0f);
   }
```

Example: Solar

```
   // The Sun (spins by rotating it about y-axis)
   glPushMatrix();
      glRotatef( SunSpin, 0.0f, 1.0f, 0.0f ); // spin on its own axis.
      glColor3f( 1.0f, 1.0f, 0.0f );
      glutWireSphere( g_SunRadius, 20, 20 );
   glPopMatrix();

   // The Earth spins on its own axis and orbit the Sun.
   glPushMatrix();
      glRotatef( EarthOrbit, 0.0f, 1.0f, 0.0f );
      glTranslatef( 0.0f, 0.0f, g_EarthDistanceFromSun );
      glRotatef( EarthSpin, 0.0f, 1.0f, 0.0f );
      glColor3f( 0.0f, 1.0f, 0.0f );
      glutWireSphere( g_EarthRadius, 10, 10 );
   glPopMatrix();
```

Example: Solar

```
   // The Moon spins on its own axis and orbit the Earth.
   glPushMatrix();
     glRotatef( EarthOrbit, 0.0f, 1.0f, 0.0f );
     glTranslatef( 0.0f, 0.0f, g_EarthDistanceFromSun );

     glRotatef( MoonOrbit, 0.0f, 1.0f, 0.0f );
     glTranslatef( 0.0f, 0.0f, g_MoonDistanceFromEarth );
     glRotatef( MoonSpin, 0.0f, 1.0f, 0.0f );

      glColor3f( 1.0f, 1.0f, 1.0f );
      glutWireSphere( g_MoonRadius, 8, 8 );
   glPopMatrix();

   glutSwapBuffers();
}
```

Example: Solar Using Matrix & Vector Class

```
#include “matrix4x4.h”
#include “vector3.h”
...
void display (void)
{
    ...

    // The Sun (spins by rotating it about y-axis)
    matrix4x4 mSunSpinRotation;
    matrix4x4 mSunMatrix;
    mSunSpinRotation.rotate( SunSpin, 'y');
    mSunMatrix = mSunSpinRotation; // spin it on its axis.

    glPushMatrix();
       glMultMatrixf( mSunMatrix.m );
       glColor4f( 1.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f );
       glutWireSphere( g_SunRadius, 20, 20 );
    glPopMatrix();
```

Example: Solar Using Matrix & Vector Class

```
    // The Earth spins on its own axis and orbit the Sun.
    matrix4x4 mEarthTranslationToOrbit;
    matrix4x4 mEarthSpinRotation;
    matrix4x4 mEarthOrbitRotation;
    matrix4x4 mEarthMatrix;
    mEarthSpinRotation.rotate( EarthSpin, 'y' );
    mEarthTranslationToOrbit.translate(vector3(0.0f, 0.0f,
    g_EarthDistanceFromSun));
    mEarthOrbitRotation.rotate( EarthOrbit, 'y' );
    mEarthMatrix = mEarthOrbitRotation *
                   mEarthTranslationToOrbit *
                   mEarthSpinRotation;
    glPushMatrix();
       glMultMatrixf( mEarthMatrix.m );
       glColor4f( 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f );
       glutWireSphere( g_EarthRadius, 10, 10 );
    glPopMatrix();
```

Example: Solar Using Matrix & Vector Class

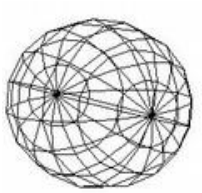
```
    // The Moon spins on its own axis and orbit the Earth
    matrix4x4 mMoonTranslationToOrbit;
    matrix4x4 mMoonSpinRotation;
    matrix4x4 mMoonOrbitRotation;
    matrix4x4 mMoonMatrix;
    mMoonSpinRotation.rotate( MoonSpin, 'y' );
    mMoonTranslationToOrbit.translate( vector3(0.0f, 0.0f,
     g_MoonDistanceFromEarth) );
    mMoonOrbitRotation.rotate( MoonOrbit, 'y' );
    mMoonMatrix = mEarthOrbitRotation *
                  mEarthTranslationToOrbit *
                  mMoonOrbitRotation *
                  mMoonTranslationToOrbit *
                  mMoonSpinRotation;
    glPushMatrix();
       glMultMatrixf( mMoonMatrix.m );
       glColor4f( 1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f );
       glutWireSphere( g_MoonRadius, 8, 8 );
    glPopMatrix();
    glutSwapBuffers();
}
```

3D Geometry Functions

- GLUT shapes
- GLU quadrics
- Modeling a cube
- 3D Model Loading

GLUT Shapes

- GLUT는 다양한 기본 도형 드로잉 함수를 제공한다. 예를 들어, platonic solids, simple curves, teapots 등등
- GLUT 도형 드로잉함수는 solid나 wireframe으로 그릴 수 있다.
  - glutSolidSphere(1.5, 16, 8)
  - glutWireDodecahedron()
- 예제
  - glutShapes.cpp



GLUT Shapes

- glutSolidCube(size)
- glutSolidSphere(radius, slices, stacks)
- glutSolidCone(baseRadius, height, slices, stacks)
- glutSolidTorus(innerRadius, outerRadius, sides, rings)
- glutSolidOctahedron()
- glutSolidDodecahedron()
- glutSolidIcosahedron()
- glutSolidTeapot(size)

GLU Quadrics

- Quadrics이란 예를 들어 $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ 와 같은 다양한 곡선이나 표면을 만들어 내는 함수이다. are various smooth surfaces described by functions like:
- 기본적인 GLU quadrics 는 spheres, cylinders, cone, disk를 포함하고 있다.
- GLU quadrics를 그리려면 quadric object을 생성해서 GLU 함수에 넘겨줘야 한다. 그리고, GLU에서는 quadrics를 points, lines, 또는 polygons 등 어떻게 그릴 지 제어하는 함수도 제공하고 있다.

```
quadric = gluNewQuadric();
gluQuadricDrawStyle(quadric, GLU_LINE);
gluSphere(quadric, 2.5, 32, 24);
```

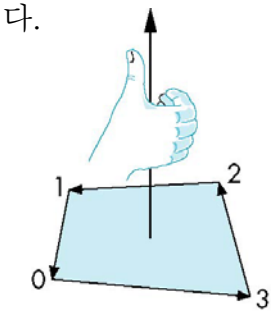
- 예제
  - gluQuadrics.cpp

GLUT Quadrics

- gluSphere(quadric, radius, slices, stacks)
- gluCylinder(quadric, baseRadius, topRadius, height, slices, stacks)
- Cone using gluClinder(quadric, 0, topRadius, height, slices, stacks)
- gluDisk(quadric, innerRadius, outerRadius, slides, rings)
- glutPartialDisk(quadric, innerRadius, outerRadius, slides, rings, startAngle, sweepAngle)

Modeling a Cube

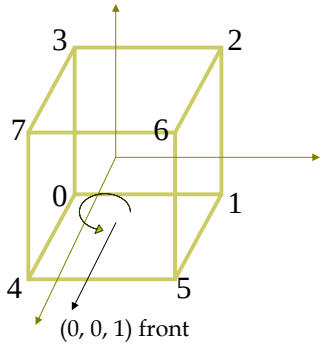
- OpenGL에서 정점의 winding 순서 {v_0, v_3, v_2, v_1}과 {v_1, v_0, v_3, v_2}은 같은 다각형을 만들어낸다. 그러나, 정점의 winding 순서 {v_1, v_2, v_3, v_0}은 다르다.
- OpenGL에서는 오른손 좌표계를 사용하므로, counter-clockwise encirclement로 정점을 정의했을 때 바깥쪽을 향하는 법선벡터 (normal)을 만들어낸다.



Modeling a Cube

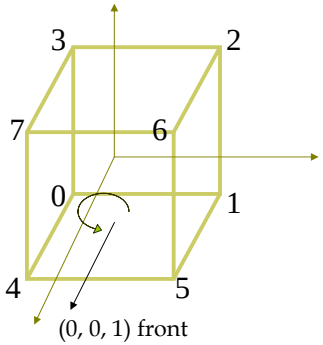
- Index를 사용하여 cube를 그린다.

```
GLfloat vertex[][3] = {
        {-1.0,-1.0,-1.0},    { 1.0,-1.0,-1.0},
        { 1.0, 1.0,-1.0},    {-1.0, 1.0,-1.0},
        {-1.0,-1.0, 1.0},    { 1.0,-1.0, 1.0},
        { 1.0, 1.0, 1.0},    {-1.0, 1.0, 1.0}
};

Glfloat normal[][3] = {
        { 1.0,  0.0,  0.0},  // right
        { 0.0,  1.0,  0.0},  // top
        { 0.0,  0.0,  1.0},  // front
        {-1.0,  0.0,  0.0},  // left
        { 0.0, -1.0,  0.0},  // bottom
        { 0.0,  0.0, -1.0},  // back
};
```



Modeling a Cube

```
void polygon(int n, int b, int c , int d)
{
  glBegin(GL_POLYGON);
    glNormalfv(normal[n]);
    glVertex3fv(vertex[a]);
    glVertex3fv(vertex[b]);
    glVertex3fv(vertex[c]);
    glVertex3fv(vertex[d]);
  glEnd();
 }
void cube( )
{
   polygon(0, 5, 1, 2, 6);     // right
   polygon(1, 6, 2, 3, 7);     // top
   polygon(2, 6, 7, 4, 5);     // front
   polygon(3, 4, 7, 3, 0);     // left
   polygon(4, 4, 0, 1, 5);     // bottom
   polygon(5, 0, 3, 2, 1);     // back
}
```



Model Files

- 3차원 모델 종류
  - Wavefront (.obj)
  - Inventor (.iv)
  - VRML / X3D
  - 3D Studio (.3ds)
  - OpenFlight (.flt)
  - …
- 3차원 객체 모델은 아래와 같은 정보를 포함하고 있다.
  - Geometry data – vertex positions, faces
  - Colors/material properties
  - Textures
  - Transformations

Wavefront OBJ Files

- OBJ file은 일반 텍스트 파일로, 정점 (vertices), 다각형 표면 (polygon faces), 재질 (material) 등 그 외 다수의 정보를 포함하고 있다.
- 각 line은 정점, 법선벡터, 텍스쳐 등 어떤 정보를 가진 line인지 알려주는 토큰 (token)으로 시작한다.
  - v *x y z*
    - Vertex position
  - vn *x y z*
    - Vertex normal
  - vt *u v*
    - texture coordinate
  - f *v1 v2 v3* ..
    - Face (list of vertex numbers)
  - Mtllib *file.mtl*
    - File containing material descriptions
  - Usemtl *name*
    - Current material to apply to geometry